Journal of Water and Soil
Homepage: https://jsw.um.ac.ir

Research Article
Vol. 37, No. 5, Dec.-Jan., 2023, p. 751-767

The Effect of Nitrogen Form on Chemical Composition, Leaf Photosynthetic Pigments Concentration and Yield of Two Fodder Maize (*Zea mays* L.) Cultivars in Soilless Culture

M. Ghorbani[1]*, SH. Kiani[2], A. Moharrery[3], S. Fallah[4]

1 and 2- Ph.D. Student and Associate Professor, Department of Soil Science and Engineering, Faculty of Agriculture, Shahrekord University, Shahrekord, Iran, respectively.
(*- Corresponding Author Email: maryamghorbani@uoz.ac.ir)
3- Professor, Department of Animal Science, Faculty of Agriculture, Shahrekord University, Shahrekord, Iran
4- Professor, Department of Agronomy, Faculty of Agriculture, Shahrekord University, Shahrekord, Iran

Received: 04-10-2023
Revised: 31-10-2023
Accepted: 11-11-2023
Available Online: 12-11-2023

How to cite this article:
Ghorbani, M., Kiani, SH., Moharrery, A., & Fallah, S. (2023). The effect of nitrogen form on chemical composition, leaf photosynthetic pigments concentration and yield of two fodder maize (*Zea mays* L.) cultivars in soilless culture. *Journal of Water and Soil, 37*(5), 751-767. (In Persian with English abstract). https://doi.org/10.22067/jsw.2023.84731.1340

Introduction

The gradual decrease in the fertile soils surface due to environmental pollution and urbanization phenomena has reduced the possibility of sufficient fodder production. In addition, the strict dependency of the agricultural sector on water resources in an age of drastic climate change necessitates providing novel solutions for agricultural production. One of the methods that has gained attention for providing fodder is its production through soilless culture techniques. Maize can be a suitable option for fodder production in soilless culture due to high starch and sugar content, low seed cost, high biomass production, and rapid growth. Proper nutritional management of maize in soilless culture is highly important for increasing the quantity and quality of forage greenery. Little information is available regarding the impact of nitrogen form on the growth, yield and chemical composition of forage plants including maize in soilless culture. This experiment was conducted to investigate the effect of nitrogen form on the chemical composition, leaf photosynthetic pigments concentration and yield of two fodder maize (*Zea mays* L.) cultivars in soilless culture.

Materials and Methods

A factorial experiment based on randomized complete block design was conducted with the two factors of ammonium to nitrate ratio in the nutrient solution (0:100, 12.5:87.5, 25:75, 37.5:62.5 and 50:50) and maize cultivars (i.e., single cross hybrid 704 and single cross 410) and four replications in hydroponic culture at the greenhouse of Shahrekord University. After seed germination and emergence of the first two leaves, the maize seedlings were transferred to 10-liter plastic pots containing perlite (0.5-5 mm) and were manually fertigated with different ammonium to nitrate ratios on a daily basis. Before harvesting, chlorophyll a, b and (a+b), and carotenoids were quantified in leaves of plants. At the end of the tasseling stage, the plants were harvested. After harvesting, the root, stem, and leaf parts were separated, and the fresh weights of the samples were measured. Plant samples were dried in an oven at 60 °C. Then, dry weights of samples were measured and samples (root and leaf + stem) were ground for nutrient analysis including of N, P and K. Analysis of variance was performed using SAS software version 9.4. Means comparison was conducted using Duncan's multi-range test at $p < 0.05$.

https://doi.org/10.22067/jsw.2023.84731.1340

Results and Discussion

The results showed that in single-cross hybrid 704 and single-cross 410 cultivars, respectively, increasing the applied ammonium to 37.5% and 50% in the nutrient solution caused a significant increase in the shoot nitrogen concentration. Application of ammonium in the nutrient solution led to an increase in shoot and root phosphorus concentration in both maize cultivars compared to the nutrient solution without ammonium. The highest concentration of phosphorus in shoot (18.02 $g.kg^{-1}$) was observed in the single-cross hybrid 704 cultivar when maize plants fed with a nutrient solution containing 50 percent ammonium, which was 3.2 times higher than the shoot phosphorus concentration in plants fed with nutrient solution without ammonium. Furthermore, at the 50:50 ammonium to nitrate ratio in the nutrient solution, the lowest root potassium concentration was recorded in both maize cultivars. In single-cross hybrid 704 cultivar, application of nutrient solution with ammonium to nitrate ratio of 50:50 resulted in a significant 31% decrease in leaf chlorophyll a concentration compared to plants fed with a nutrient solution containing 25% ammonium (with the highest chlorophyll content). The leaf chlorophyll a concentration in single-cross 410 cultivar showed an increasing trend with increasing ammonium in the nutrient solution up to 25 percent, and then a decreasing trend with further increase in the ammonium proportion. Moreover, a 31.4% significant decrease in chlorophyll b concentration was observed in plants fed with a 50:50 ammonium to nitrate ratio compared to plants fed with a 37.5: 62.5 ammonium to nitrate ratio. The highest leaf carotenoid concentration was recorded in single-cross hybrid 704 cultivar and at 25:75 ammonium to nitrate ratio, which was 1.4 times higher than the leaf carotenoid concentration compared to plants fed with nutrient solution without ammonium. The highest relative leaf moisture content was observed in the plants nourished with ammonium to nitrate ratio of 25:75, which showed a significant 20% increase compared to the ammonium-free nutrient solution. The results also indicated that the application of 50% of nitrogen in the form of ammonium in the nutrient solution led to a significant decrease in the leaf surface area of maize. The highest shoot and root fresh weights were obtained in the plants nourished with 25:75 ammonium to nitrate ratio and in the single-cross hybrid 704 cultivar. The results showed that the highest water (solution) use efficiency based on fresh weight was recorded in plants fed with 25:75 ammonium to nitrate ratio and in the single-cross hybrid 704 cultivar.

Conclusion

Based on the results of the present study, the highest shoot and root fresh weights of both maize cultivars were obtained in plants fed with 25:75 ammonium to nitrate ratio. Given the limitations of water resources and rainfall, optimal use of minimum water to produce maximum agricultural crops must be cnsidered. According to the results of this research, application of nutrient solution with ammonium to nitrate ratio of 50:50 led to ammonium toxicity and a reduction in forage yield in both maize cultivars. Therefore, replacing 25% nitrate in the nutrient solution with ammonium and selecting the single-cross hybrid 704 cultivar (due to higher yield compared to single cross 410 cultivar) is recommended to achieve maximum fodder yield in soilless culture under conditions similar to this study.

Keywords: Ammonium to Nitrate ratio, Chlorophyll, Macro elements, Single-cross hybrid 704

نشریه آب و خاک
https://jsw.um.ac.ir

مقاله پژوهشی

جلد ۳۷، شماره ۵، آذر-دی ۱۴۰۲، ص. ۷۶۷-۷۵۱

تأثیر شکل نیتروژن بر ترکیب شیمیایی، غلظت رنگیزه‌های فتوسنتزی برگ و عملکرد دو رقم ذرت علوفه‌ای (*Zea mays* L.) در کشت بدون خاک

مریم قربانی[۱]*- شهرام کیانی[۲]- علی محرری[۳]- سینا فلاح[۴]

تاریخ دریافت: ۱۴۰۲/۰۷/۱۲
تاریخ پذیرش: ۱۴۰۲/۰۸/۲۰

چکیده

اطلاعات اندکی در مورد تأثیر شکل نیتروژن بر رشد گیاهان علوفه‌ای از جمله ذرت در کشت بدون خاک موجود است. در پژوهش حاضر تأثیر شکل نیتروژن بر ترکیب شیمیایی، غلظت رنگیزه‌های فتوسنتزی برگ و عملکرد دو رقم ذرت علوفه‌ای در کشت بدون خاک مورد بررسی قرار گرفت. این آزمایش به‌صورت فاکتوریل در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با دو عامل نسبت آمونیوم به نیترات محلول غذایی و نوع رقم در چهار تکرار در گلخانه دانشگاه شهرکرد انجام شد. عامل اول نسبت‌های مختلف آمونیوم به نیترات محلـول غـذایی شامل پنج نسبت صفر به ۱۰۰، ۱۲/۵ به ۸۷/۵، ۲۵ به ۷۵، ۳۷/۵ به ۶۲/۵ و ۵۰ به ۵۰ و عامل دوم نیز شامل دو رقم ذرت هیبرید سینگل‌کراس ۷۰۴ و سینگل‌کراس ۴۱۰ بود. نتایج نشان داد کاربرد آمونیوم به میزان ۳۷/۵ و ۵۰ درصد کل نیتروژن محلول غذایی به‌ترتیب در رقم سینگل‌کراس ۷۰۴ و سینگل‌کراس ۴۱۰ سبب بیشترین افزایش معنادار در غلظت نیتروژن شاخساره شد. کاربرد آمونیوم در محلول غذایی سبب افزایش غلظت فسفر شاخساره و ریشه در هر دو رقم ذرت نسبت به محلول غذایی فاقد آمونیوم گردید. همچنین در نسبت ۵۰ به ۵۰ آمونیوم به نیترات محلول غذایی کمترین غلظت پتاسیم ریشه در هر دو رقم مشاهده شد. در رقم سینگل‌کراس ۷۰۴، تغذیه گیاهان با محلول دارای نسبت ۵۰ به ۵۰ آمونیوم به نیترات منجر به ۳۱ درصد کاهش در غلظت کلروفیل a برگ نسبت به گیاهان تغذیه شده با محلول غذایی حاوی ۲۵ درصد آمونیوم شد. غلظت کلروفیل a برگ در رقم سینگل‌کراس ۴۱۰ با افزایش آمونیوم در محلول غذایی تا ۲۵ درصد روند صعودی و با افزایش بیشتر سهم آمونیوم روند نزولی نشان داد. با افزایش نسبت آمونیوم به نیترات محلول غذایی غلظت کلروفیل b برگ به‌طور معناداری در مقایسه با گیاهان تغذیه شده با محلول غذایی فاقد آمونیوم افزایش یافت به‌طوری که بیشترین غلظت کلروفیل b برگ در گیاهان تغذیه شده با نسبت ۲۵ به ۷۵ آمونیوم به نیترات مشاهده شد. نتایج نشان داد که بیشترین وزن تازه شاخساره و ریشه در گیاهان تغذیه شده با نسبت ۲۵ به ۷۵ آمونیوم به نیترات و در رقم سینگل‌کراس ۷۰۴ مشاهده شد. بر اساس نتایج این پژوهش جایگزینی ۵۰ درصد آمونیوم به جای نیترات سبب بروز سمیت آمونیوم و کاهش عملکرد علوفه در دو رقم ذرت شد. بنابراین، کاربرد نسبت ۲۵ به ۷۵ آمونیوم به نیترات در محلول غذایی برای دستیابی به بیشترین وزن تازه علوفه و انتخاب رقم سینگل‌کراس ۷۰۴ (به‌دلیل وزن تازه بیشتر نسبت به رقم سینگل‌کراس ۴۱۰) در کشت بدون خاک در شرایط مشابه این پژوهش قابل توصیه است.

واژه‌های کلیدی: عناصر پرمصرف، کلروفیل، نسبت آمونیوم به نیترات، هیبرید سینگل‌کراس ۷۰۴

---

۱ و ۲- به‌ترتیب دانشجوی دکتری و دانشیار گروه علوم و مهندسی خاک، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شهرکرد، شهرکرد، ایران
(*- نویسنده مسئول: Email: maryamghorbani@uoz.ac.ir)
۳- استاد گروه علوم دامی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شهرکرد، شهرکرد، ایران
۴- استاد گروه زراعت، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شهرکرد، شهرکرد، ایران

https://doi.org/10.22067/jsw.2023.84731.1340

مقدمه

کاهش تدریجی سطح خاک‌های حاصل‌خیز به‌دلیل آلودگی‌های محیطی و پدیده شهرنشینی (Chen, 2007) امکان تولید علوفه کافی را کاهش داده است. علاوه بر این، وابستگی شدید بخش کشاورزی به منابع آبی (Zhang *et al.*, 2007) در عصر تغییرات شدید آب و هوایی نیازمند ارائه راهکارهای نوین برای تولید محصولات کشاورزی است. یکی از روش‌هایی که برای تأمین علوفه مورد توجه قرار گرفته است تولید علوفه به روش کشت بدون خاک است. ذرت به دلایلی همچون دارا بودن ترکیبات نشاسته‌ای و قندی بالا (Russell and Hallauure, 1988)، قیمت کم بذر، تولید زیست‌توده زیاد و داشتن رشد سریع می تواند گزینه مناسبی برای تولید علوفه در کشت بدون خاک باشد (Nike *et al.*, 2012). در این میان مدیریت مناسب تغذیه ذرت در کشت بدون خاک برای افزایش کمیت و کیفیت علوفه سبز دارای اهمیت زیادی است. تاکنون محلول‌های غذایی متعددی با ترکیب عناصر غذایی متفاوت پرمصرف و کم‌مصرف برای تولید ذرت در کشت بدون خاک مورد استفاده قرار گرفته‌اند (Stewart *et al.*, 2019؛ *et al.*, Adeyemi 2020؛ Alexander *et al.*, 1991). در بین عناصر غذایی موجود در محلول‌های غذایی نیتروژن اهمیت ویژه‌ای دارد. نیتروژن به عنوان یکی از پرمصرف‌ترین عناصر غذایی مورد نیاز گیاه با دو شکل عمده جذب نیترات و آمونیوم توسط گیاهان اثرات مهمی بر کمیت و کیفیت محصولات کشاورزی دارد.(Hachiya & Sakakibara, 2017) اکثر گیاهان قادرند از آمونیوم یا نیترات به تنهایی و یا مخلوطی از هر دو شکل استفاده کنند. تأثیرگذاری شکل نیتروژن به عواملی همچون مرحله رشدی گیاه (Errebhi & Wilcox, 1990)، دما و pH محلول غذایی (Wen *et al.*, 2000)، مقدار نیتروژن کل در گیاه (Mahlangu *et al.*, 2016) و نسبت آمونیوم به نیترات (Savvas *et al.*, 2006) وابسته است. ظرفیت زیاد گیاهان در تجمع نیترات در برگ هایشان (Santamaría *et al.*, 1998) و اثر سوء نیترات بر سلامتی انسان (Gangolli *et al.*, 1994) و حیوانات (Bruning-Fann & Kaneene, 1993) سبب شده که آمونیوم بتواند در تأمین بخشی از نیتروژن گیاه نقش بسزایی داشته باشد. تاکنون پژوهش‌های متعدی در مورد تأثیر شکل نیتروژن بر رشد و عملکرد گیاهان زراعی مانند نیشکر(Boschieroa *et al.*, 2019)، جو (Ali *et al.*, 2001) کلزا (Aghajanzadeh & Hafez alkotob, 2020) و ذرت (Peng *et al.*, 2018) در کشت بدون خاک صورت گرفته است. نتایج پژوهش های انجام شده نشان می‌دهد زمانی که برای تأمین نیتروژن گیاه از نیترات و آمونیوم به صورت توأم استفاده شود، رشد گیاه بیشتر از زمانی است که هر یک از دو منبع به تنهایی بکار برده شود. پنگ و همکاران (Peng *et al.*, 2018) در بررسی اثر شکل‌های مختلف نیتروژن و تراکم کاشت بر رشد و عملکرد گیاه ذرت در کشت بدون خاک دریافتند در مقایسه با هر یک از شکل‌های نیترات یا آمونیوم به تنهایی، با کاربرد نسبت ۷۵ به ۲۵ نیترات به آمونیوم زیست‌توده شاخساره، ریشه و کل ذرت در هر بوته افزایش معنادار یافت. به‌طوری که کاربرد مخلوط نیترات و آمونیوم در تراکم کم (۲۰۸ بوته در متر مربع) و زیاد (۶۶۷ بوته در متر مربع) کاشت به‌ترتیب ۴۰ و ۸۱ درصد زیست‌توده ذرت را افزایش داد. آنها اینگونه استدلال کردند زمانی که در تأمین نیتروژن گیاه ذرت از هر دو شکل نیتروژن استفاده شد تولید آدنوزین‌تری‌فسفات (ATP) افزایش معنادار نشان داد. افزایش تولید انرژی به معنای فتوسنتز و زیست‌توده بیشتر گیاه است. الکساندر و همکاران (Alexander *et al.*, 1991) گزارش کردند کاربرد ۳۱ درصد از نیتروژن محلول غذایی به شکل آمونیوم در تمام دوره رشد و یا نیمی از آن عملکرد دانه و وزن خشک شاخساره ذرت را در مقایسه با گیاهانی که فقط ۴ درصد نیتروژن را به شکل آمونیوم دریافت کرده بودند افزایش داد. این افزایش برای گیاهانی که در تمام دوره رشد ۳۱ درصد کل نیتروژن محلول غذایی را به شکل آمونیوم دریافت کرده بودند بیشتر بود. آقاجانزاده و حافظالکتب (Aghajanzadeh & Hafez alkotob, 2020) اثر تیمارهای مختلف نیتروژنی (نیترات و نیترات آمونیوم) را بر رشد و عملکرد گیاهچه‌های کلزا و کلم بروکلی در کشت بدون خاک بررسی کردند. نتایج نشان داد وزن تازه و خشک شاخساره در هر دو گیاه تغذیه شده با نیترات آمونیوم افزایش معناداری نسبت به گیاهان رشد یافته در محیط حاوی نیترات داشته است. آنها دلیل افزایش وزن تازه و خشک گیاهان را توسعه سطح برگ ناشی از افزایش فعالیت آنزیم سیتوکینین سنتتاز، افزایش میزان فتوسنتز و تنفس در نسبت مساوی آمونیوم به نیترات در مقایسه با تغذیه نیتراته بیان کردند. همچنین استدلال دیگر آنها این بود که تغذیه آمونیوم همراه با نیترات سبب رشد سریعتر گیاه می‌شود، چون جذب آمونیوم توسط گیاه سریعتر اتفاق می‌افتد. اسمیت و همکاران (Smith *et al.*, 1990) در بررسی اثر سطوح مختلف آمونیوم به نیترات بر رشد و عملکرد ارزن مرواریدی (*Pennisetum glaucum*. L. R. Br.) عنوان کردند با افزایش سهم آمونیوم در محلول غذایی کاهش در رشد برگ، ساقه، ریشه، ارتفاع گیاه و میانگین وزن دانه مشاهده شد. به‌طوری که بیشترین کاهش در نسبت‌های ۱ به صفر و ۳ به ۱ آمونیوم به نیترات رخ داد. ربی و همکاران (Rabie *et al.*, 1980) معتقدند که تغذیه آمونیومی از ظرفیت فتوسنتز در برگها می‌کاهد و سبب کاهش عملکرد در گیاه می‌شود. تأثیر تغذیه با نیترات یا آمونیوم بر ترکیب شیمیایی گیاه متفاوت از یکدیگر است. با کاربرد آمونیوم، گیاه جهت حفظ توازن بار، H^+ را از ریشه رها می‌کند که این امر سبب پایین آمدن pH محیط ریشه شده و شرایط جهت افزایش فراهمی عناصری مانند فسفر، آهن و مس مهیا می‌گردد (Marschner, 2012). در صورتی که تغذیه نیتراتی سبب بالا رفتن pH محیط ریشه می‌گردد. زیرا گیاه برای حفظ

تعادل بار، OH^- یا یون بی‌کربنات را از ریشه تروایش می‌کند. بنابراین تغذیه نیتراتی در جذب کاتیون‌ها توسط گیاه موثر است. پنگ و همکاران (Peng *et al*., 2018) گزارش کردند در تراکم کاشت کم ذرت در کشت بدون خاک، در نسبت ۷۵ به ۲۵ نیترات به آمونیوم، جذب نیتروژن ۱۲ درصد افزایش یافت. همچنین در تراکم کاشت زیاد و نسبت ۷۵ به ۲۵ نیترات به آمونیوم، جذب نیتروژن و فسفر به‌ترتیب ۱۸ و ۴۳ درصد افزایش یافت. آنها اظهار کردند که تولید انرژی در گیاه در نسبت مذکور نیترات به آمونیوم بیشتر از هر دو منبع نیترات و یا آمونیوم به تنهایی بود. کائو و همکاران (Cao *et al*., 2011) در بررسی نسبت‌های مختلف نیترات به آمونیوم محلول غذایی بر جذب نیتروژن گیاه چچم (*Lolium perenne* L.) در کشت بدون خاک بیان کردند که در تیمارهای ۷۵ به ۲۵ و ۵۰ به‌۵۰ نیترات به آمونیوم بیشترین جذب، و با کاربرد ۱۰۰ درصد نیترات یا آمونیوم به تنهایی میزان جذب نیتروژن حداقل بود. در پژوهش‌های زیادی اثر شکل نیتروژن بر شدت فتوسنتز و غلظت رنگیزه‌های فتوسنتزی گیاه در کشت بدون خاک بررسی شده است. گیو و همکاران (Guo *et al*., 2019) اثر کاربرد نیترات و آمونیوم در غلظت‌های ۲ و ۱۰ میلی‌مولار را بر شدت فتوسنتز در گیاه گندم در کشت بدون خاک مورد بررسی قرار دادند. نتایج نشان داد زمانی که منبع تأمین نیتروژن، آمونیوم بود آسیمیلاسیون کربن کاهش یافت، به عبارت دیگر شدت فتوسنتز کم شد و نهایتاً سبب افت زیست‌توده گندم گردید. همچنین در گیاهان تغذیه شده با آمونیوم، نسبت زیست‌توده ریشه به شاخساره در مقایسه با گیاهانی که با نیترات تغذیه شده بودند کاهش معناداری یافت. این نتایج بیانگر اثر سمی آمونیوم بر رشد ریشه گندم بود. کائو و همکاران (Cao *et al*., 2011) دریافتند که با افزایش میزان آمونیوم محلول غذایی، محتوای کلروفیل گیاه چچم (*Lolium perenne* L.) افزایش معنادار نشان داد. آنها چنین استنباط کردند که با افزایش آمونیوم در نسبت‌های ۲۵ به ۷۵ و صفر به ۱۰۰ نیترات به آمونیوم رشد شاخساره، توسعه سلولی و گسترش برگ‌ها کاهش و در نتیجه محتوای کلروفیل در واحد سطح برگ افزایش یافت. اطلاعات اندکی در مورد تأثیر شکل نیتروژن بر رشد، عملکرد و ترکیب شیمیایی گیاهان علوفه‌ای از جمله ذرت در کشت بدون خاک موجود است. نظر به اهمیت موضوع و کمبود اطلاعات در این زمینه، در پژوهش حاضر تأثیر شکل نیتروژن بر عملکرد و ترکیب شیمیایی دو رقم ذرت علوفه‌ای در کشت بدون خاک مورد بررسی قرار گرفت.

مواد و روش‌ها

این آزمایش به صورت فاکتوریل در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با دو عامل نسبت آمونیوم به نیترات محلول غذایی و نوع رقم در چهار تکرار در گلخانه دانشگاه شهرکرد انجام شد. عامل اول نسبت های مختلف آمونیوم به نیترات محلول غذایی بود که با توجه به بررسی منابع و تأثیر منفی سطوح بالای آمونیوم بر عملکرد کمی و کیفی گیاهان، از پنج نسبت آمونیوم به نیترات شامل صفر به ۱۰۰، ۱۲/۵ به ۸۷/۵، ۲۵ به ۷۵، ۳۷/۵ به ۶۲/۵ و ۵۰ به ۵۰ استفاده شد. عامل دوم نیز شامل دو رقم ذرت (*Zea mays* L.) هیبرید سینگل کراس ۷۰۴ و سینگل‌کراس ۴۱۰ بود. هیبرید سینگل کراس ۷۰۴، دیررس و مناسب برای کشت در مناطق گرمسیر و یا مناطق دارای فصل رشد نسبتاً طولانی است. این هیبرید دارای بوته‌های قوی، کاملاً بلند و پرشاخه و برگ است. علاوه بر داشتن عملکرد دانه‌ای بسیار مطلوب، محصول علوفه‌ای آن هم قابل توجه است. هیبرید سینگل کراس ۴۱۰، زودرس بوده و دارای عملکرد دانه و علوفه بالا و مناسب برای کشت در مناطق مختلف کشور است. از دیگر ویژگی‌های هیبرید سینگل کراس ۴۱۰ می‌توان به یکنواختی ارتفاع بوته و بلال، استحکام ساقه، تلقیح کامل، پوشش مناسب بلال، عدم آلودگی به آفات و بیماری‌ها اشاره کرد (Anonymous, 2018). به منظور اجرای آزمایش، بذور ذرت پس از ضدعفونی توسط محلول هیپوکلریت سدیم یک درصد به مدت یک ساعت (Assefa *et al*., 2020) در سینی کشت نشا حاوی کوکوپیت و پرلیت (به‌ترتیب با نسبت ۲ به ۱ حجمی/ حجمی) کاشته شده و روزانه توسط آب مقطر آبیاری شدند. پس از سبز شدن بذور و ظهور دو برگ اولیه، نشاهای ذرت به گلدان‌های پلاستیکی ۱۰ لیتری حاوی پرلیت (۰/۵تا ۵ میلی‌متر) منتقل شد. برای هر واحد آزمایشی یک گلدان در نظر گرفته و در داخل هر گلدان یک بوته کشت گردید. برای تهیه محلول غذایی، از آب مقطر استفاده شد. در محلول غذایی مورد استفاده غلظت نیتروژن کل، فسفر، پتاسیم، کلسیم و منیزیم به‌ترتیب برابر با ۱۸/۸۵، ۱/۲۹، ۹/۸۶، ۴/۷۱ و ۲ میلی‌مولار و غلظت عناصر غذایی کم‌مصرف برای آهن، منگنز، روی، مس، مولیبدن، بور، سدیم و کلر به‌ترتیب برابر ۱۰۷/۴، ۹/۱، ۳/۸، ۰/۶، ۰/۱، ۴۶/۳، ۶۵۰ و ۲۵۰ میکرومولار بود (Smith *et al*., 1983). همچنین pH محلول های غذایی در نسبت‌های مختلف آمونیوم به نیترات با استفاده از محلول یک مولار اسید سولفوریک و یا هیدروکسید سدیم بر روی شش تنظیم و سپس قابلیت هدایت الکتریکی محلول‌های غذایی تهیه شده با استفاده از دستگاه هدایت‌سنج اندازه‌گیری گردید. محدوده قابلیت هدایت الکتریکی محلول‌های غذایی مورد استفاده در محدوده ۲/۳۸ تا ۳/۱ دسی‌زیمنس بر متر بود. گلدان‌ها با تراکم نه بوته در متر مربع (۹۰۰۰۰ بوته در هکتار) (Alexander *et al*., 1991) در گلخانه چیده شدند. پس از انتقال نشاهای ذرت به گلدان‌ها از محلول‌های غذایی یک چهارم قدرت استفاده شد که به تدریج و با افزایش رشد گیاه و پس از ۲۱ روز در مرحله ۴ تا ۵ برگی از محلول غذایی تمام قدرت استفاده شد. محلول غذایی روزانه به صورت دستی به گیاهان داده شد. نوع سامانه آب‌کشت مورد استفاده از نوع باز و کسر آبشویی بسته به مرحله رشد گیاه بین ۵ تا ۲۰ درصد در نظر گرفته شد تا از تجمع نمک‌ها در بستر جلوگیری شود. سپس، مراقبت‌های زراعی معمول در حین دوره

داشت در گلخانه صورت گرفت. در طول دوره آزمایش، میانگین دمای روز گلخانه ۲۵ درجه سلسیوس و میانگین دمای شب ۲۱ درجه سلسیوس، رطوبت نسبی ۴۰ تا ۵۳ درصد و میزان نور ۳۲۰۰۰ تا ۷۱۳۰۰ لوکس بود. در مرحله پایان ظهور گل آذین نر شاخص سبزینگی برگ با کلروفیل‌متر دستی (Hansatech مدل CL-01) با انجام ۲۰ قرائت از پهنک برگ دهم انجام شد. همچنین در این مرحله سطح برگ در هر گیاه پس از اندازه‌گیری طول و عرض برگ‌ها با متر، براساس روابط ارائه شده توسط دیر و همکاران (Dwyer *et al.*, 1999) اندازه‌گیری شد. برای محاسبه سطح برگ توسعه‌یافته و در حال توسعه در هر بوته گیاه ذرت به‌ترتیب از روابط (۱) و (۲) استفاده شد.

معادله (۱) $A= a \times b \times 0.5$

معادله (۲) $A= a \times b \times 0.75$

در این روابط A سطح برگ بر حسب سانتی‌متر مربع، a و b به‌ترتیب طول و عرض برگ بر حسب سانتی‌متر هستند.

همچنین مقدار نسبی آب برگ در برگ‌های جوان نسبتاً توسعه یافته و با استفاده از رابطه (۳) محاسبه گردید (Barrs & Weatherley, 1962).

معادله (۳) $RWC = [(W_f - W_d) /(W_s -W_d) W_d)]\times100$

W_f= بافت تازه برگ

W_d= وزن نمونه برگ بعد از ۴ ساعت قرار گرفتن در آب مقطر

W_s= وزن نمونه بعد از خارج کردن از آون به مدت ۲۴ ساعت

برای محاسبه میزان کلروفیل a، b و کارتنوئیدهای برگ پس از عصاره‌گیری برگ (نمونه‌برداری از جوان‌ترین برگ) با استون ۸۰ درصد، جذب نور (A) با دستگاه اسپکتروفتومتر در طول موج‌های ۶۴۶/۸، ۶۶۳/۲ و ۴۷۰ نانومتر قرائت شد. سپس غلظت رنگیزه‌ها از روابط ۴، ۵ و ۶ محاسبه شد (Lichtenthaler, 1987).

معادله (۴) کلروفیل a =۱۲/۲۵ (A ۶۶۳/۲) -۲/۷۹ (A۶۴۶/۸)

رابطه (۵) کلروفیل b =۲۱/۲۱ (A ۶۴۶/۸) - ۵/۱ (A۶۶۳/۲)

معادله(۶)

کارتنوئید = [۱۰۰۰(A۴۷۰) – ۱/۸ (کلروفیل a) – ۸۵/۰۲ (کلروفیل b)]/۱۹۸

در پایان مرحله ظهور گل آذین نر، گیاهان برداشت شدند. پس از برداشت، قسمت‌های ریشه، ساقه و برگ تفکیک شده و وزن تازه نمونه ها توسط ترازوی رقومی اندازه‌گیری شد. نمونه‌ها توسط آب معمولی و آب مقطر شسته و به مدت ۷۲ ساعت در آون در دمای ۷۰ درجه سلسیوس قرار داده شدند تا خشک شوند. سپس وزن خشک نمونه‌ها اندازه‌گیری شد. به دنبال آن نمونه‌ها برای اندازه‌گیری‌های شیمیایی با استفاده از آسیاب برقی پودر شدند. غلظت عناصر غذایی پرمصرف در ریشه و شاخساره (برگ + ساقه) مورد اندازه‌گیری قرار گرفتند. غلظت نیتروژن موجود در نمونه‌ها پس از تهیه عصاره از روش خاکسترگیری تر با استفاده از روش کلدال (Jones, 2001) اندازه‌گیری شد. غلظت فسفر در عصاره تهیه شده از روش خاکسترگیری خشک و ترکیب با اسید کلریدریک با روش فسفو وانادات مولیبدات زرد و با دستگاه اسپکتروفتومتر (Cintra Model 101) و پتاسیم با دستگاه فلیم‌فتومتر (Corning Model 410) اندازه‌گیری شد (Jones, 2001). کارایی مصرف آب نیز از تقسیم وزن خشک و تازه شاخساره (به‌طور جداگانه) تولید شده بر حجم محلول غذایی مصرف‌شده محاسبه شد (Ningoji *et al.*, 2020). تجزیه و تحلیل داده‌ها با استفاده از نرم‌افزار SAS انجام و مقایسه میانگین‌ها نیز از طریق آزمون چند دامنه‌ای دانکن و همچنین ضرایب همبستگی پیرسون به‌منظور بررسی وجود یا عدم وجود همبستگی بین صفات اندازه‌گیری شده با استفاده از نرم‌افزار SAS نسخه ۹/۴ انجام شد.

نتایج و بحث

تأثیر نسبت آمونیوم به نیترات بر غلظت عناصر پرمصرف

نتایج آنالیز واریانس نشان داد برهمکنش نسبت آمونیوم به نیترات محلول غذایی با رقم بر غلظت نیتروژن ریشه و شاخساره به‌ترتیب در سطح احتمال یک و پنج درصد، بر غلظت فسفر ریشه و شاخساره در سطح احتمال یک درصد و بر غلظت پتاسیم ریشه در سطح احتمال پنج درصد معنادار بود (جدول ۱). همچنین غلظت پتاسیم شاخساره فقط تحت تأثیر اثرات ساده نسبت آمونیوم به نیترات محلول غذایی و رقم در سطح احتمال یک درصد قرار گرفت (جدول ۱). نتایج نشان داد در رقم سینگل‌کراس ۷۰۴ افزایش آمونیوم کاربردی تا ۳۷/۵ درصد در محلول غذایی سبب بیشترین افزایش معنادار در غلظت نیتروژن شاخساره شد، بطوری‌که ۷۲ درصد افزایش نسبت به محلول غذایی فاقد آمونیوم (نسبت صفر به ۱۰۰ آمونیوم به نیترات) به ثبت رسید. در رقم سینگل‌کراس ۴۱۰ جایگزینی ۵۰ درصد آمونیوم به جای نیترات سبب ثبت بیشترین غلظت نیتروژن شاخساره شد بطوری‌که ۴۵/۳ درصد افزایش نسبت به محلول غذایی فاقد آمونیوم مشاهده شد. روند صعودی افزایش در غلظت نیتروژن ریشه تا جایگزینی ۲۵ درصد آمونیوم به جای نیترات در محلول غذایی در هر دو رقم مشاهده شد. به‌طوری‌که در ارقام ذرت سینگل‌کراس ۷۰۴ و سینگل‌کراس ۴۱۰ تغذیه شده با نسبت ۲۵ به ۷۵ آمونیوم به نیترات به‌ترتیب ۲۲/۵ و ۴۸ درصد افزایش در غلظت نیتروژن ریشه نسبت به محلول غذایی فاقد آمونیوم مشاهده شد (جدول ۲). جذب آمونیوم برخلاف نیترات به صورت غیرفعال است و در نتیجه به انرژی نیاز ندارد (Homas & Sodek, 2005)، بنابراین صرفه‌جویی در انرژی می‌تواند در جهت جذب یون‌ها توسط گیاه بکار رود (Marschner, 2012). منگل و کرکبای (Mengel & Kirkby, 2001) معتقدند یک ارتباط همسازی بین نیترات و آمونیوم حکمفرماست که سبب افزایش جذب نیتروژن در گیاهان می‌شود. شهوری و همکاران (Shahoori *et al.*, 2018) گزارش کردند در

صورت فراهمی دو شکل نیتروژن (نیترات و آمونیوم)، گیاه آویشن جذب آمونیوم را به نیترات ترجیح می‌دهد که افزایش در غلظت نیتروژن را به دنبال دارد. نتایج پژوهش‌های دلشاد و همکاران (Delshad *et al.*, 2000) بر روی گوجه‌فرنگی نیز در همین راستا بود. بنی‌جمال و بیات (Banijamal & Bayat, 2014) دلیل افزایش غلظت نیتروژن با افزایش غلظت آمونیوم در محلول غذایی در برگ گل رز را جذب سریع تر شکل آمونیومی در قیاس با شکل نیتراتی و همچنین مصرف کمتر انرژی (Rothstein & Cregg, 2005) می‌دانند. اما با افزایش در میزان آمونیوم کاربردی (بیشتر از ۲۵ درصد) در هر دو رقم کاهش معنادار در غلظت نیتروژن ریشه رخ داد (جدول ۲). نجفی و پارسازاده (Najafi & Parsazadeh, 2010) گزارش کردند که بیشترین غلظت نیتروژن کل در اسفناج در نسبت ۷۵ به ۲۵ نیترات به آمونیوم و در pH برابر با ۶/۵ در کشت بدون خاک مشاهده شد. بریتو و کرونزوکر (Beritto & Kronzucker, 2002) معتقدند تغذیه آمونیومی سبب تراوش بیش از اندازه پروتون، اسیدی شدن ریزوسفر و به دنبال آن مسمومیت ناشی از آمونیوم آسمیله نشده می‌شود. اسیدی شدن ریزوسفر با افزایش آمونیوم کاربردی در واقع پاسخ گیاه به سمیت آمونیوم است (Zhang *et al.*, 2005). مسمومیت ریشه کاهش رشد آن را به دنبال دارد. از آنجایی که اندازه سیستم ریشه عامل اساسی در جذب نیتروژن است بنابراین با کاهش رشد ریشه، جذب نیتروژن توسط آن کاهش می‌یابد (Sattelmacher *et al.*, 1990). بیتسانسکی و همکاران (Bittsansky *et al.*, 2015) گزارش کردند غلظت‌های زیاد آمونیوم در محلول‌های غذایی باعث کاهش کارایی جذب نیتروژن توسط گیاه ارکیده شد. آنها دلیل این مسئله را صدمه به سیستم ریشه و تجمع عناصر غذایی در گیاه نسبت دادند. نتایج ارائه شده در جدول ۲ بیانگر آن است که کاربرد آمونیوم در محلول غذایی در تمامی نسبت های آمونیوم به نیترات سبب افزایش غلظت فسفر شاخساره و ریشه در هر دو رقم ذرت نسبت به محلول غذایی فاقد آمونیوم گردید. بیشترین غلظت فسفر شاخساره (۱۸/۰۲ گرم بر کیلوگرم) در رقم سینگل‌کراس ۷۰۴ و در تغذیه با محلول غذایی حاوی ۵۰ درصد آمونیوم بدست آمد که ۳/۲ برابر غلظت فسفر در گیاهان تغذیه شده با محلول غذایی فاقد آمونیوم بود. همچنین در مرتبه بعدی در رقم سینگل‌کراس ۴۱۰ در نسبت ۵۰ به۵۰ آمونیوم به نیترات بیشترین غلظت فسفر شاخساره (۱۶/۸۷ گرم بر کیلوگرم) مشاهده شد که با غلظت فسفر در نسبت ۳۷/۵ به ۶۲/۵ آمونیوم به نیترات در هر دو رقم سینگل‌کراس ۷۰۴ و ۴۱۰ تفاوت معنادار نداشت (جدول ۲). کمترین غلظت فسفر شاخساره هم در نسبت صفر به صد در هر دو رقم ذرت حاصل شد که نسبت به یکدیگر تفاوت معنادار نداشتند (جدول ۲). نتایج نشان داد یک روند افزایشی در غلظت فسفر ریشه تا میزان ۳۷/۵ درصد آمونیوم کاربردی در محلول غذایی در رقم سینگل‌کراس ۷۰۴ مشاهده شد. در این میزان آمونیوم کاربردی غلظت فسفر ریشه ۲/۲ برابر غلظت فسفر ریشه در گیاهان تغذیه شده با محلول غذایی فاقد آمونیوم در رقم مذکور بود.

اما افزایش در غلظت فسفر در رقم ۴۱۰ تا نسبت ۵۰ به ۵۰ آمونیوم به نیترات هم ادامه داشت و در سطح نامبرده بیشترین غلظت فسفر ریشه به ثبت رسید که ۴/۴ برابر غلظت فسفر در گیاهان تغذیه شده با محلول غذایی فاقد آمونیوم بود (جدول ۲). دلیل افزایش معنادار غلظت فسفر ریشه و شاخساره ذرت با افزایش میزان آمونیوم محلول غذایی ارتباط هم‌افزایی[1] بین آمونیوم و فسفر است (Marschner, 2012). این ارتباط به‌دلیل حفظ توازن بارهای الکتریکی در سلول‌های گیاهی است. وودسون و بودلی (Woodson & Boodley, 1982) معتقدند یون آمونیوم می‌تواند در انتقال فسفر از ریشه به شاخساره گیاه به عنوان یون مخالف موثر باشد. نتایج پژوهش‌های روستا (Roosta, 2010) نشان داد غلظت فسفر شاخساره اسفناج و کاهو با کاربرد آمونیوم در مقایسه با نیترات افزایش یافت که هم سو با نتایج پژوهش حاضر بود.

اثر شکل نیتروژن بر غلظت پتاسیم متفاوت از دو عنصر نیتروژن و فسفر بود. غلظت این عنصر در ریشه با افزایش بیش از ۱۲/۵ درصد آمونیوم در محلول غذایی شروع به کاهش کرد (جدول ۲). در نسبت ۵۰ به ۵۰ آمونیوم به نیترات محلول غذایی کمترین غلظت پتاسیم ریشه در هر دو رقم ثبت شد، به‌طوری‌که ۸ و ۱۴/۱ درصد کاهش معنادار به‌ترتیب در ارقام سینگل‌کراس ۷۰۴ و ۴۱۰ نسبت به محلول غذایی فاقد آمونیوم مشاهده شد. پتاسیم شاخساره نیز روندی مانند پتاسیم ریشه را دنبال کرد. کاهش در غلظت پتاسیم شاخساره با افزایش ۲۵ درصد آمونیوم در محلول غذایی مشاهده شد و به تدریج با افزایش سهم آمونیوم در محلول غذایی این کاهش هم زیاد شد.

1- Synergism

جدول ۱- تجزیه واریانس غلظت عناصر پرمصرف در شاخساره و ریشه ذرت تحت تأثیر نسبت آمونیوم به نیترات و نوع رقم

Table 1- Analysis of variance for macronutrient concentration in shoot and root of maize affected by NH_4^+/NO_3^- ratio and cultivar type

منابع تغییر S.O. V	درجه آزادی Df	غلظت نیتروژن ریشه Root nitrogen concentration	غلظت نیتروژن شاخساره Shoot nitrogen concentration	غلظت فسفر ریشه Root phosphorus concentration	غلظت فسفر شاخساره Shoot phosphorus concentration	غلظت پتاسیم ریشه Root potassium concentration	غلظت پتاسیم شاخساره Shoot potassium concentration
بلوک Block	3	5.34 ns	2.62 ns	0.57 ns	0.55 ns	11.16*	2.77 ns
نسبت آمونیوم به نیترات NH_4^+/NO_3^- ratio	4	110.63**	187.29**	494.25**	195.73**	51.61**	118.11**
رقم ذرت Maize Cultivar	1	71.21**	31.22**	88.28**	12.61 **	125.56**	25.76**
نسبت آمونیوم به نیترات × رقم ذرت NH_4^+/NO_3^- ×ratio Cultivar	4	22.96**	10.46*	21.86**	4.62**	11.29*	1.87 ns
خطا Error	27	2.81	2.85	2.85	0.7	3.72	1.23
ضریب تغییرات (٪) Coefficient of variation (%)	-	5.26	7.18	8.85	6.57	7.64	4.35

ns، ** و * به‌ترتیب عدم معناداری، معناداری در سطح احتمال ۱ و ۵ درصد.

ns, ** and *: non-significant, significant at $p≤0.01$ and $p≤0.05$, respectively.

به‌طوری که در نسبت ۵۰ به ۵۰ آمونیوم به نیترات ۲۶/۹ درصد کاهش در غلظت پتاسیم شاخساره نسبت به محلول غذایی فاقد آمونیوم رخ داد. از آنجایی که ارتباط ضدیتی[1] بین آمونیوم و پتاسیم حکمفرماست، بنابراین در جذب این دو یون توسط ریشه گیاه رقابت وجود دارد و همین امر سبب کاهش غلظت پتاسیم گیاه با افزایش سهم آمونیوم در محلول غذایی می‌شود (Wang & Below, 1998).

مارشنر (Marshner, 2012) معتقد است به‌دلیل همانند بودن اندازه یون هیدراته این دو یون (آمونیوم و پتاسیم) رقابت بین آنها بر سر جذب مکان‌های یکسان روی ریشه ایجاد می‌شود که با افزایش آمونیوم مقدار پتاسیم کاهش می‌یابد. نتایج نشان داد در رقم سینگل کراس ۷۰۴ غلظت پتاسیم شاخساره ۶/۴ درصد بیشتر از رقم سینگل کراس ۴۱۰ بود که به‌دلیل اختلافات ژنتیکی بین این دو رقم ذرت است.

تأثیر نسبت آمونیوم به نیترات بر غلظت رنگیزه‌های فتوسنتزی برگ

نتایج آنالیز واریانس نشان داد برهمکنش نسبت آمونیوم به نیترات محلول غذایی با رقم به‌ترتیب در سطح احتمال پنج درصد بر غلظت کلروفیل a و در سطح یک درصد بر غلظت کارتنوئید و شاخص سبزینگی برگ معنادار بود (جدول ۳). در حالیکه غلظت کلروفیل b برگ فقط تحت تأثیر اثرات ساده نسبت آمونیوم به نیترات محلول غذایی و رقم در سطح احتمال یک درصد قرار گرفت (جدول ۳).

1- Antagonism

جدول ۲- مقایسه میانگین اثر برهمکنش نسبت آمونیوم به نیترات و رقم ذرت بر غلظت عناصر پرمصرف در ریشه و شاخساره ذرت

Table 2- Mean comparisons of the NH_4^+/NO_3^- ratio and maize cultivar interaction effect on macronutrient concentrations in the root and shoot of maize

رقم Cultivar	نسبت آمونیوم به نیترات NH_4^+/NO_3^- ratio	غلظت نیتروژن ریشه Root nitrogen concentration	غلظت نیتروژن شاخساره Shoot nitrogen concentration	غلظت فسفر ریشه Root phosphorus concentration	غلظت فسفر شاخساره Shoot phosphorus concentration	غلظت پتاسیم ریشه Root potassium concentration
		(گرم بر کیلوگرم) g kg^{-1}				
(سینگل‌کراس ۷۰۴) Single cross 704	0:100	30.80^{cd}	18.20^{e}	12.58^{e}	5.67^{e}	23.69^{de}
	12.5:87.5	29.48^{de}	19.03^{e}	13.16^{e}	10.21^{d}	29.82^{a}
	25:75	37.72^{a}	24.95^{c}	26.93^{a}	13.55^{c}	27.29^{ab}
	37.5:62.5	34.94^{b}	31.33^{a}	27.79^{a}	16.31^{b}	26.04^{cd}
	50:50	33.15^{bc}	28.53^{b}	24.39^{b}	18.02^{a}	21.79^{ef}
(سینگل‌کراس ۴۱۰) Single cross 410	0:100	23.59^{f}	18.87^{e}	6.75^{f}	4.57^{e}	22.79^{e}
	12.5:87.5	27.76^{e}	18.71^{e}	10.81^{e}	10.75^{d}	28.92^{ab}
	25:75	34.90^{b}	22.04^{d}	21.86^{c}	14.40^{c}	26.64^{bc}
	37.5:62.5	32.62^{bc}	26.16^{bc}	19.28^{d}	16.66^{b}	25.96^{cd}
	50:50	33.88^{b}	27.42^{b}	27.27^{a}	16.87^{ab}	19.58^{g}

در هر ستون، حروف مشابه نمایانگر عدم اختلاف معنادار در سطح احتمال پنج درصد براساس آزمون دانکن هستند

Means followed by the same letters in each column are not significantly different at 5% probability level based on Duncan test.

در رقم سینگل‌کراس ۷۰۴، تغذیه گیاهان با محلول دارای نسبت ۵۰ به ۵۰ آمونیوم به نیترات منجر به ۳۱ درصد کاهش در غلظت کلروفیل a برگ نسبت به گیاهان تغذیه شده با محلول غذایی حاوی ۲۵ درصد آمونیوم (با بیشترین میزان کلروفیل) شد. غلظت کلروفیل a برگ در رقم سینگل‌کراس ۴۱۰ با افزایش آمونیوم در محلول غذایی تا ۲۵ درصد روند صعودی و با افزایش بیشتر سهم آمونیوم روند نزولی نشان داد (جدول ۴). در بین دو رقم، بیشترین غلظت کارتنوئید برگ در رقم سینگل‌کراس ۷۰۴ و در نسبت ۲۵ به ۷۵ آمونیوم به نیترات ثبت شد که ۴/۱ برابر غلظت کارتنوئید در مقایسه با گیاهان تغذیه شده با محلول غذایی فاقد آمونیوم بود. در هر دو رقم با افزایش سهم آمونیوم در محلول غذایی به بیش از ۲۵ درصد، غلظت کارتنوئید برگ به‌طور معناداری کاهش یافت (جدول ۴). با افزایش نسبت آمونیوم به نیترات محلول غذایی غلظت کلروفیل b برگ به‌طور معناداری در مقایسه با گیاهان تغذیه شده با محلول غذایی فاقد آمونیوم افزایش یافت. بیشترین غلظت کلروفیل b برگ در نسبت ۲۵ به ۷۵ آمونیوم به نیترات حاصل شد که البته با نسبت ۳۷/۵ به ۶۲/۵ اختلاف معناداری نداشت. همچنین در رقم سینگل‌کراس ۷۰۴، غلظت کلروفیل b برگ، ۹/۳۵ درصد بیش از رقم سینگل‌کراس۴۱۰ بود (جدول ۴). نیتروژن با شرکت در حلقه پورفیرین به‌طور مستقیم در ساخت کلروفیل نقش دارد (Ahmadi *et al.*, 2004). از آنجایی که غلظت نیتروژن شاخساره در نسبت ۳۷/۵ به ۶۲/۵ آمونیوم به نیترات در رقم سینگل‌کراس ۷۰۴ بیشترین مقدار بود (جدول ۲)، این امر احتمالاً می‌تواند دلیل بیشتر بودن مقادیر کلروفیل a و b در نسبت ۳۷/۵ به ۶۲/۵ آمونیوم به نیترات و عدم اختلاف معنادار با نسبت ۲۵ به ۷۵ آمونیوم به نیترات باشد.

سلطانا و همکاران (Sultana *et al.*, 2009) اظهار کردند که افزایش نیتروژن گیاه می‌تواند در افزایش مقادیر کلروفیل a و b در گیاه موثر باشد. پابلاسیونز و همکاران (Poblaciones *et al.*, 2009) همبستگی خوبی بین نیتروژن و غلظت کلروفیل در برگ گندم مشاهده کردند. ژو و همکاران (Zhu *et al.*, 2014) در بررسی اثر نسبت‌های متفاوت نیترات به آمونیوم بر رشد گیاه پرونلا باغی (*Prunella vulgaris*) دریافتند که به‌ترتیب بیشترین و کمترین مقدار کلروفیل در نسبت‌های ۷۵ به ۲۵ و صفر به ۱۰۰ حاصل شد.

قربانی و همکاران (Ghorbani *et al.*, 2023) در بررسی اثر ۵ محلول غذایی (محلول غذایی تمام قدرت و نیم قدرت هوگلند با نسبت صفر به صد آمونیوم به نیترات، محلول غذایی باری و میلر با نسبت ۳۰ به ۷۰ آمونیوم به نیترات، محلول غذایی الکساندر با نسبت ۵ به ۹۵ آمونیوم به نیترات و محلول غذایی رواکورا با نسبت ۲۵ به ۷۵ آمونیوم به نیترات) بر شاخص سبزینگی برگ دو رقم ذرت در کشت بدون خاک دریافتند که بیشترین و کمترین مقدار این شاخص به‌ترتیب در محلول غذایی رواکورا و نیم قدرت هوگلند در هر دو رقم مشاهده شد. آنها اینگونه استدلال کردند که اولاً محلول غذایی رواکورا برخلاف محلول غذایی نیم قدرت هوگلند دارای دو شکل نیتروژن (نیترات و آمونیوم) در ترکیب خود بود.

جدول ۳- تجزیه واریانس غلظت رنگیزه‌های فتوسنتزی در شاخساره ذرت تحت تأثیر نسبت آمونیوم به نیترات و نوع رقم

Table 3- Analysis of variance for photosynthetic pigments concentration in shoot of maize affected by NH_4^+/NO_3^- ratio and cultivar type

منابع تغییر S.O.V	درجه آزادی Df	کلروفیل a Chlorophyll a	کلروفیل b Chlorophyll b	کارتنوئید Carotenoids	شاخص سبزینگی برگ Leaf greenness index
بلوک Block	3	0.05^{ns}	0.06^{ns}	0.03^{ns}	0.96^{ns}
نسبت آمونیوم به نیترات NH_4^+/NO_3^- ratio	4	27.12**	19.76**	12.72**	284.88**
رقم ذرت Maize Cultivar	1	1.71**	2.34**	0.50**	82.66**
نسبت آمونیوم به نیترات × رقم ذرت Cultivar×NH_4^+/NO_3^- ratio	4	0.46*	0.15^{ns}	0.18**	14.59**
خطا Error	27	0.14	0.08	0.01	2.78
ضریب تغییرات (٪) Coefficient of variation (%)	-	3.87	5.47	6.04	5.37

ns، ** و * به‌ترتیب عدم معناداری، معناداری در سطح احتمال ۱ و ۵ درصد.

ns, ** and *: non-significant, significant at $p\leq0.01$ and $p\leq0.05$, respectively.

دوم، این محلول غذایی دارای غلظت نیتروژن بیشتری نسبت به مابقی محلول‌های غذایی بود. آنها گزارش کردند که همبستگی مثبت و معناداری بین غلظت نیتروژن شاخساره و شاخص سبزینگی برگ (p < ۰/۰۱، r = ۰/۷۰) وجود داشت. در پژوهش حاضر نیز همبستگی مثبت و معناداری بین غلظت نیتروژن شاخساره و شاخص سبزینگی برگ (p < ۰/۰۱، r = ۰/۶۴) وجود داشت. مطابق با نتایج ارائه شده در جدول ۲ با وجود اینکه در نسبت ۵۰ به ۵۰ آمونیوم به نیترات ۸/۹ درصد کاهش در غلظت نیتروژن شاخساره در رقم سینگل‌کراس ۷۰۴ در مقایسه با نسبت ۳۷/۵ به ۶۲/۵ به ثبت رسید اما کاهش معنادار در غلظت کلروفیل a در نسبت ۵۰ به ۵۰ در قیاس با نسبت ۳۷/۵ به ۶۲/۵ تقریباً ۳۲ درصد بوده است (جدول ۴). این اتفاق نشان می‌دهد که در نسبت ۵۰ به ۵۰ آمونیوم به نیترات گیاه دچار سمیت آمونیوم شده و با وجود غلظت زیاد نیتروژن، در تولید کلروفیل a کاهش رخ داده است. این شرایط برای کلروفیل b هم وجود داشت. به‌طوری که ۳۱/۴ درصد کاهش در غلظت کلروفیل b در گیاهان تغذیه شده با نسبت ۵۰ به ۵۰ آمونیوم به نیترات در قیاس با گیاهان تغذیه شده با نسبت ۳۷/۵ به ۶۲/۵ آمونیوم به نیترات مشاهده شد. از طرف دیگر ثبت کمترین غلظت پتاسیم شاخساره در نسبت ۵۰ به ۵۰ آمونیوم به نیترات در هر دو رقم ذرت (جدول ۲) استدلال دیگری برای کاهش غلظت کلروفیل در این نسبت آمونیوم به نیترات است (جدول ۴).

ژنگ و همکاران (Zheng *et al.*, 2008) گزارش کردند که پتاسیم اثر فزاینده‌ای در تقویت ساخت ATP، کلروفیل a و b در غلات دارد. نتایج نشان داد در هر دو رقم ذرت شاخص سبزینگی برگ در گیاهان تغذیه شده با نسبت ۲۵ به ۷۵ آمونیوم به نیترات بیشترین مقدار را داشت. در نسبت مذکور شاخص سبزینگی برگ در ارقام سینگل‌کراس ۷۰۴ و ۴۱۰ به‌ترتیب ۴۳ و ۴۶ درصد افزایش نسبت به شاخص سبزینگی برگ گیاهان تغذیه شده با محلول غذایی فاقد آمونیوم نشان داد (جدول ۴).

تأثیر نسبت آمونیوم به نیترات بر عملکرد

نتایج آنالیز واریانس نشان داد برهمکنش نسبت آمونیوم به نیترات محلول غذایی با رقم به‌ترتیب در سطح احتمال یک درصد بر وزن تازه شاخساره و در سطح احتمال پنج درصد بر وزن تازه ریشه و کارایی مصرف آب براساس وزن تازه و خشک معنادار بود (جدول ۵). اما اثر ساده نسبت آمونیوم به نیترات محلول غذایی در سطح احتمال یک درصد بر محتوای نسبی رطوبت برگ و سطح برگ و اثر ساده رقم در سطح احتمال یک درصد بر محتوای نسبی رطوبت برگ و در سطح ۵ درصد بر سطح برگ معنادار بود (جدول ۵). بیشترین محتوای نسبی رطوبت برگ در نسبت ۲۵ به ۷۵ آمونیوم به نیترات مشاهده شد که در مقایسه با محلول غذایی فاقد آمونیوم ۲۰ درصد افزایش نشان داد (جدول ۶). نتایج نشان داد با افزایش سهم آمونیوم در محلول غذایی محتوای نسبی رطوبت برگ شروع به کاهش کرد تا اینکه در نسبت ۵۰ به ۵۰ آمونیوم به نیترات با ۲۶ درصد کاهش در مقایسه با نسبت ۲۵ به ۷۵ کمترین محتوای نسبی رطوبت برگ ثبت شد.

جدول ٤- مقایسه میانگین اثر نسبت آمونیوم به نیترات و رقم ذرت بر غلظت رنگیزه‌های فتوسنتزی در برگ ذرت

Table 4- Mean comparisons of the NH_4^+/NO_3^- ratio and maize cultivar effect on photosynthetic pigments concentration in the leaf of maize

(رقم ذرت) Maize Cultivar	(سینگل‌کراس ٧٠٤) Single cross 704					(سینگل‌کراس ٤١٠) Single cross 410				
(نسبت آمونیوم به نیترات) NH_4^+/NO_3^- ratio	0:100	12.5:87.5	25:75	37.5:62.5	50:50	0:100	12.5:87.5	25:75	37.5:62.5	50:50
	(mg g^{-1} FW)									
(کلروفیل a) Chlorophyll a	8.40^{de}	9.30^{c}	12.13^{a}	11.62^{ab}	8.30^{de}	8.23^{de}	8.51^{d}	11.94^{a}	11.35^{b}	7.87^{e}
کارتنوئید Carotenoids	0.91^{e}	1.52^{d}	3.72^{a}	3.22^{b}	0.91^{e}	0.64^{f}	1.60^{d}	3.16^{bc}	3.02^{c}	0.73^{f}
شاخص سبزینگی برگ Leaf greenness index	27.20^{de}	29.68^{c}	38.90^{a}	36.88^{ab}	22.23^{f}	26.43^{e}	28.95^{cd}	38.57^{a}	35.80^{b}	26.05^{e}

	نسبت آمونیوم به نیترات NH_4^+/NO_3^- ratio				
کلروفیل b Chlorophyll b (mg g^{-1} FW)	0:100	12.5:87.5	25:75	37.5:62.5	50:50
	3.51^{c}	4.57^{b}	7.09^{a}	6.94^{a}	4.76^{b}

	رقم ذرت Maize Cultivar	
کلروفیل b Chlorophyll b (mg g^{-1} FW)	(سینگل‌کراس ۷۰۴) Single cross 704	(سینگل‌کراس ۴۱۰) Single cross 410
	5.61^{a}	5.13b

میانگین‌های دارای حروف مشابه، نمایانگر عدم اختلاف معنادار در سطح احتمال پنج درصد براساس آزمون دانکن هستند.

Means followed by the same letters are not significantly different at 5% probability level based on Duncan test.

کاندلبایندر و همکاران (Kandlbinder *et al.*, 1997) اظهار کردند گیاهانی که از آمونیوم جهت تأمین نیتروژن استفاده شد دچار اختلال در تنظیم فرآیند اسمزی می‌شوند. استدلال آنها این بود که این گیاهان نمی‌توانند در حفظ ساخت آنیون‌های آلی موفق باشند. در صورتی که یکی از اثرات تغذیه گیاهان با نیترات، تولید اسیدهای آلی و به دنبال آن تولید آنیون‌های آلی است. آنیون‌های آلی می‌توانند با پتاسیم تشکیل نمک‌هایی را دهند که از نظر اسمزی بسیار فعالند و توانایی تنظیم فعالیت‌های اسمزی را دارا هستند.

در پژوهش حاضر اولاً زیاد بودن سهم آمونیوم در محلول غذایی (۵۰ درصد) و دوماً روند کاهش غلظت پتاسیم در شاخساره با افزایش سهم آمونیوم (جدول ۲) تأثیر بسزایی در کم شدن محتوای نسبی رطوبت برگ در نسبت ۵۰ به ۵۰ داشت. بیشتر بودن غلظت پتاسیم شاخساره در رقم سینگل‌کراس ۷۰۴ نسبت به رقم سینگل‌کراس ۴۱۰ (جدول ۲)، دلیل احتمالی بیشتر بودن محتوای نسبی رطوبت برگ در رقم ۷۰۴ نسبت به رقم سینگل کراس ۴۱۰ بود (جدول ۶).

نتایج نشان داد با کاربرد ۵۰ درصد نیتروژن به شکل آمونیوم در محلول غذایی سطح برگ ذرت کاهش یافت (جدول ۶). در نسبت ۵۰ به ۵۰ آمونیوم به نیترات سطح برگ گیاه ۳۸ درصد کاهش در مقایسه با نسبت ۲۵ به ۷۵ آمونیوم به نیترات با بیشترین سطح برگ (۰/۶۸ متر مربع در گیاه) نشان داد (جدول ۶). با توجه به اینکه در نسبت ۵۰ به ۵۰ آمونیوم به نیترات غلظت رنگیزه‌های فتوسنتزی برگ کاهش معنادار نشان داد (جدول ۴)، بالتبع آن میزان فتوسنتز، توسعه سلولی و سطح برگ هم کاهش یافت. مارشنر (Marschner, 2012) معتقد است زمانی‌که گیاه بیش از حد بهینه آمونیوم را جذب کرده و نتواند آن را آسیمیله کند تجمع آمونیوم در گیاه رخ می‌دهد. آمونیوم آسیمیله نشده وارد برگ‌ها شده و در بسیاری از فعالیت‌های حیاتی گیاه مانند فتوسنتز اختلال ایجاد می‌کند. چن و همکاران (Chen *et al.*, 1998) گزارش کردند ساخت سیتوکینین با افزایش سهم آمونیوم دچار کاهش شده و از آنجایی که نقش سیتوکنین در توسعه و انبساط سلولی است، بنابراین کاهش سطح برگ در گندم رخ داد. دوک و کالینز (Duke & Collins, 1985) بیان کردند که پتاسیم در بهبود فعالیت آنزیم‌های موثر در آسیمیلاسیون آمونیوم نقش بسزایی دارد. بدیهی است کاهش غلظت پتاسیم سبب افزایش میزان آمونیوم غیرآسیمیله در گیاه می‌شود.

جدول ۵- تجزیه واریانس وزن تازه شاخساره و ریشه، کارایی مصرف آب، سطح برگ و محتوای نسبی رطوبت برگ تحت تأثیر نسبت آمونیوم به نیترات و نوع رقم

Table 5- Analysis of variance for shoot and root fresh weight, water use efficiency, leaf area and leaf relative water content affected by NH_4^+/NO_3^- ratio and cultivar type

منابع تغییر S.O. V	درجه آزادی Df	محتوای نسبی رطوبت برگ Leaf Relative Water Content	سطح برگ Leaf area	وزن تازه شاخساره Shoot fresh weight	وزن تازه ریشه Root fresh weight	کارایی مصرف آب براساس وزن تازه Water use efficiency	کارایی مصرف آب براساس وزن خشک Water use efficiency
بلوک Block	3	18.65 ^{ns}	0.00 ^{ns}	470.89 ^{ns}	160.09 ^{ns}	0.71 ^{ns}	0.03 ^{ns}
نسبت آمونیوم به نیترات NH_4^+/NO_3^- ratio	4	654.60**	0.12**	129978.28**	11426.94**	199.45**	8.60**
رقم ذرت Maize Cultivar	1	211.69**	0.01*	17181.02**	2213.85**	26.36**	1.32**
نسبت آمونیوم به نیترات × رقم ذرت ×NH_4^+/NO_3^- ratio Cultivar	4	6.63 ^{ns}	0.00 ^{ns}	4520.96**	410.50*	6.92*	0.35*
خطا Error	27	9.22	0.00	1036.26	143.36	1.59	0.09
ضریب تغییرات (٪) Coefficient of variation (%)	-	4.07	6.46	4.09	5.06	4.10	5.74

ns، ** و * به‌ترتیب عدم معناداری، معناداری در سطح احتمال ۱ و ۵ درصد.

^{ns}, ** and *: non-significant, significant at $p\leq 0.01$ and $p\leq 0.05$, respectively.

با توجه به کاهش غلظت پتاسیم شاخساره (جدول ۲) می‌توان گفت احتمالاً در نسبت ۵۰ به ۵۰ آمونیوم به نیترات میزان آسیمیلاسیون آمونیوم کاهش داشته و به دنبال آن اختلال در فرایند فتوسنتز بیشتر بوده است. سانتوس و همکاران (Santos *et al.*, 2013) نشان دادند که بیشترین تعداد و سطح برگ در گیاهان چمن (*Panicum maximum*) تغذیه شده با نسبت‌های نیترات به آمونیوم ۷۰ به ۳۰ و ۵۵ به ۴۵ بدست آمد. آنها افزایش سطح برگ را به افزایش میزان سیتوکینین نسبت دادند.

همچنین از بین دو رقم سینگل‌کراس ۷۰۴ و ۴۱۰، رقم سینگل کراس ۷۰۴ دارای ۵/۶ درصد سطح برگ بیشتری نسبت به رقم ۴۱۰ بود (جدول ۶). علاوه بر اینکه تفاوت در میزان سطح برگ می‌تواند ناشی از اختلافات ژنتیکی بین دو رقم باشد، تفاوت در غلظت نیتروژن برگ هم می‌تواند تأثیرگذار بوده و سبب اختلاف در میزان سطح برگ در بین ارقام شود (Luther & Moler, 1988). مطابق با نتایج ارائه شده در جدول ۲ علاوه بر غلظت نیتروژن، غلظت عناصر فسفر و پتاسیم در شاخساره در رقم سینگل‌کراس ۷۰۴ به‌طور معناداری بیشتر از رقم سینگل‌کراس ۴۱۰ بود. به عبارت دیگر وضعیت تغذیه‌ای بهتر در رقم سینگل‌کراس ۷۰۴ نسبت به رقم سینگل‌کراس ۴۱۰، فتوسنتز و توسعه برگی بیشتری را به دنبال داشته است. نتایج نشان داد بیشترین وزن تازه شاخساره و ریشه در گیاهان تغذیه شده با نسبت ۲۵ به ۷۵ آمونیوم به نیترات و در رقم سینگل‌کراس ۷۰۴ مشاهده شد که اختلاف معناداری با وزن تازه شاخساره و ریشه گیاهان تغذیه شده با نسبت ۳۷/۵ به ۶۲/۵ آمونیوم به نیترات در همان رقم نداشتند (جدول ۶). در نسبت‌های ۱۲/۵ به ۸۷/۵، ۲۵ به ۷۵ و ۳۷/۵ به ۶۲/۵ آمونیوم به نیترات به‌ترتیب ۱۰/۶، ۳۹/۵ و ۳۵/۳ درصد افزایش معنادار در وزن تازه شاخساره ذرت نسبت به محلول غذایی فاقد آمونیوم در رقم سینگل کراس ۷۰۴ ثبت شد (جدول ۶). همچنین در رقم سینگل‌کراس ۴۱۰ در نسبت‌های ۱۲/۵ به ۸۷/۵، ۲۵ به ۷۵، ۳۷/۵ به ۶۲/۵ و ۵۰ به ۵۰ آمونیوم به نیترات به‌ترتیب ۳۰/۱، ۵۱/۸، ۴۶/۷ و ۹/۶ درصد افزایش در وزن تازه شاخساره نسبت به محلول غذایی فاقد آمونیوم مشاهده شد. کمترین وزن تازه ریشه هم در گیاهان تغذیه شده با محلول غذایی دارای نسبت ۵۰ به ۵۰ آمونیوم به نیترات و در رقم سینگل‌کراس ۴۱۰ به ثبت رسید که اختلاف معناداری با وزن تازه ریشه در همین نسبت در رقم ۷۰۴ نداشت (جدول ۶).

جدول ٦- مقایسه میانگین اثر نسبت آمونیوم به نیترات و رقم ذرت بر وزن تازه ریشه و شاخساره، کارایی مصرف آب، سطح برگ و محتوای نسبی رطوبت برگ ذرت

Table 6- Mean comparisons of the effect of NH_4^+/NO_3^- ratio and maize cultivar on root and shoot fresh weight, water use efficiency, leaf area and leaf relative water content of maize

رقم Cultivar	نسبت آمونیوم به نیترات NH_4^+/NO_3^- ratio	وزن تازه شاخساره Shoot fresh weight (g plant^{-1})	وزن تازه ریشه Root fresh weight (g plant^{-1})	کارایی مصرف آب براساس وزن تازه Water use efficiency Based on fresh weight (kg m^{-3})	کارایی مصرف آب براساس وزن خشک Water use efficiency Based on Dry weight (kg m^{-3})
(سینگل‌کراس ۷۰۴) Single cross 704	0:100	690.00^{e}	210.33^{e}	27.03^{e}	4.50^{ef}
	12.5:87.5	763.75^{d}	232.25^{d}	29.92^{d}	4.90^{de}
	25:75	963.00^{a}	289.89^{a}	37.72^{a}	6.62^{a}
	37.5:62.5	933.50^{ab}	280.33^{ab}	36.56^{ab}	6.38^{ab}
	50:50	685.50^{e}	207.10^{e}	26.85^{e}	4.22^{f}
(سینگل‌کراس ۴۱۰) Single cross 410	0:100	592.75^{f}	177.14^{f}	23.21^{f}	3.65^{g}
	12.5:87.5	771.25^{d}	231.61^{d}	30.21^{d}	4.97^{d}
	25:75	900.00^{bc}	269.46^{bc}	35.25^{bc}	6.05^{bc}
	37.5:62.5	869.75^{c}	260.12^{c}	43.06^{c}	5.83^{c}
	50:50	694.75^{e}	207.18^{e}	27.21^{e}	4.31^{f}

نسبت آمونیوم به نیترات NH_4^+/NO_3^- ratio	0:100	12.5:87.5	25:75	37.5:62.5	50:50
محتوای نسبی رطوبت برگ Leaf Relative Water Content (%)	71.28^{c}	72.85^{c}	85.20^{a}	81.46^{b}	62.20^{d}
سطح برگ Leaf area (m^{2} plant^{-1})	0.46^{c}	0.53^{b}	0.68^{a}	0.65^{a}	0.42^{d}

رقم Cultivar	(سینگل‌کراس ۷۰۴) Single cross 704	(سینگل‌کراس ۴۱۰) Single cross 410
محتوای نسبی رطوبت برگ Leaf Relative Water Content (%)	76.90^{a}	72.30^{b}
سطح برگ Leaf area (m^{2} plant^{-1})	0.56^{a}	0.53^{b}

میانگین‌های دارای حروف مشابه، نمایانگر عدم اختلاف معنادار در سطح احتمال پنج درصد براساس آزمون دانکن هستند.

Means followed by the same letters are not significantly different at 5% probability level based on Duncan test.

دلیل کاهش وزن ریشه به‌دلیل افزایش غلظت آمونیوم در ریشه است که از طرفی با ایجاد سمیت و از طرف دیگر با کاهش میزان اسکلت‌های کربنی در نتیجه آسیمیلاسیون آمونیوم جذب شده منجر به کاهش رشد ریشه‌ها شده است (Beritto & Kronzucker, 2002).

با توجه به اینکه غلظت رنگیزه‌های فتوسنتزی برگ در گیاهان ذرت تغذیه شده با نسبت ۵۰ به ۵۰ آمونیوم به نیترات، کاهش معناداری نسبت به سطح ۲۵ به ۷۵ آمونیوم به نیترات در هر دو رقم نشان داد (جدول ۴) در نتیجه میزان فتوسنتز، انبساط و توسعه سلولی و همچنین سطح برگ در گیاهان تغذیه شده با این نسبت کاهش و نهایتاً زیست توده گیاه اُفت کرده است (جدول ۶). کوماری و همکاران (Kumari *et al*., 2021) گزارش کردند که حداکثر سطح برگ، وزن تازه و خشک گیاه گشنیز با کاربرد نسبت ۷۵ به ۲۵ نیترات به آمونیوم حاصل شد. آنها گزارش کردند در بین نسبت‌های مختلف نیترات به آمونیوم، نسبت ۷۵ به ۲۵ بهترین نسبت نیترات به آمونیوم برای حصول بیشترین عملکرد گیاه گشنیز در شرایط کشت بدون خاک می‌باشد. ژو و همکاران (Zhu *et al*., 2021) دریافتند که در نسبت ۲۵ به ۷۵ آمونیوم به نیترات بیشترین جذب نیتروژن و رشد گیاه کلم چینی رخ داد. آنها گزارش کردند افزایش سهم آمونیوم در محلول غذایی سبب سمیت آمونیوم و اسیدی شدن ریزوسفر شد و کاهش در رشد گیاه را به دنبال داشت.

نتایج نشان داد بیشترین کارایی مصرف محلول غذایی براساس وزن تازه و خشک در گیاهان تغذیه شده با نسبت ۲۵ به ۷۵ آمونیوم به نیترات و در رقم سینگل‌کراس ۷۰۴ به ثبت رسید. به‌طوری‌که به ازای هر یک متر مکعب محلول غذایی مصرفی به‌ترتیب ۳۷/۷ و ۶/۶۲ کیلوگرم علوفه تازه و خشک تولید شد که در قیاس با محلول غذایی فاقد آمونیوم در همان رقم به‌ترتیب ۳۹/۵۴ و ۴۷/۱ درصد افزایش نشان داد. در مناطق خشک و نیمه خشک آب آبیاری به عنوان محدود کننده ترین عامل در نیل به عملکرد بهینه در محصولات کشاورزی مطرح است، بنابراین اندازه‌گیری کارایی مصرف آب (محلول غذایی) می‌تواند

نشان‌دهنده میزان صرفه‌جویی در آب (محلول غذایی) باشد (Rudnick *et al.*, 2016). مارشنر (Marschner, 2012) گزارش کرد که تأمین پتاسیم در حد بهینه سبب باز و بسته شدن و کارکرد طبیعی روزنه‌ها شده و در نتیجه بهبود کارایی مصرف آب گیاه را به دنبال دارد. در نسبت ۵۰ به ۵۰ آمونیوم به نیترات در دو رقم سینگل‌کراس ۷۰۴ و ۴۱۰ با کاهش غلظت پتاسیم شاخساره در مقایسه با نسبت ۱۲/۵ به ۸۷/۵ کاهش در کارایی مصرف محلول غذایی رخ داد. نادری و همکاران (Naderi *et al.*, 2015) نشان دادند بیشترین کارایی مصرف آب برابر با ۲/۲۷ کیلوگرم ماده خشک ذرت در رقم سینگل‌کراس ۷۰۴ از مصرف یک متر مکعب آب در کشت روباز (مزرعه‌ای) حاصل شد. محمدنژاد و همکاران (Mohammadnejad *et al.*, 2015) بیشترین کارایی مصرف آب از تولید علوفه ذرت رقم سینگل‌کراس ۷۰۴ را ۱/۶ کیلوگرم بر متر مکعب در کشت مزرعه‌ای گزارش کردند. لیو و همکاران (Liu *et al.*, 2023) بیشترین کارایی مصرف آب از تولید ماده خشک ذرت را در کشت مزرعه‌ای ۳/۴۷ کیلوگرم بر متر مکعب گزارش کردند. المولتوم و همکاران (Elmulthum *et al.*, 2023) گزارش کردند تفاوت فاحشی بین کارایی مصرف آب در کشت مزرعه‌ای و کشت بدون خاک در تولید علوفه جو وجود داشت. آنها بیان کردند برای حفظ آب باید بر روی کشت‌های گلخانه‌ای و بدون خاک تمرکز کرد. نتیجه حاصل از پژوهش حاضر در قیاس با نتایج پژوهش‌های بیان شده به وضوح نشان می‌دهد که کارایی مصرف آب در تولید علوفه در شرایط کشت بدون خاک بسیار بیشتر از کشت‌های مزرعه‌ای است.

نتیجه‌گیری

بر مبنای نتایج پژوهش حاضر بیشترین وزن تازه شاخساره و ریشه ارقام ذرت سینگل‌کراس ۷۰۴ و سینگل‌کراس ۴۱۰ در گیاهان تغذیه شده با نسبت ۲۵ به ۷۵ آمونیوم به نیترات حاصل شد. با توجه به محدودیت منابع آبی و نزولات جوی، استفاده بهینه از حداقل آب برای تولید حداکثر محصولات کشاورزی را باید مدنظر قرار داد. بر این مبنا استفاده از محلول غذایی مورد استفاده در این پژوهش با نسبت آمونیوم به نیترات ۲۵ به ۷۵ برای دستیابی به بیشترین عملکرد و کارایی مصرف محلول غذایی در کشت بدون خاک ذرت علوفه‌ای در شرایط مشابه این پژوهش قابل توصیه است.

منابع

1. Adeyemi, T.A., Adeoye, S.A., Ogunyemi, T.J., Adedeji, E.A., Oluyemi, B., & Ojob, V.O.A. (2020). Comparisons of nutrient solutions from organic and chemical fertilizer sources on herbage yield and quality of hydroponically produced maize fodder. *Journal of Plant Nutrition*, *44*(9), 1349–1364. https://doi.org/10.1080/01904167.2020.1845382
2. Aghajanzadeh, T.A., & Hafez alkotob, A. (2020). Effect of nitrate and ammonium nitrate on growth, sulfur metabolism and gene expression of sulfate transporters, adenosine triphosphate sulfurylase and adenosine 5'-Phosphosulfate reductase in canola (*Brassica napus* L.) and broccoli (*Brassica oleraceae* L.). *Journal of Plant Reaserch*, *33*(4), 781-796. (In Persian with English abstract)
3. Ahmadi, A., Ehsanzadeh, P., & Jabbari, F. (2004). *Introduction to plant physiology*. Vol I, Tehran University Press, 653p. (In Persian)
4. Alexander, K.G., Miller, M.H., & Beauchamp, E.G. (1991). The effect of an NH_4^+ enhanced nitrogen source on the growth and yield of hydroponically grown maize (*Zea mays* L.). *Journal of Plant Nutrition*, *14*(1), 31-44. https://doi.org/10.1080/01904169109364181
5. Ali, A., Tucker, T.C., Thompson, T.L., & Salim, M. (2001). Effects of salinity and mixed ammonium and nitrate nutrition on the growth and nitrogen utilization of barley. *Journal of Agronomy and Crop Science*, *186*, 223–228. https://doi.org/10.1046/j.1439-037x.2001.00471.x
6. Anonymous. (2018). Report on the introduction of a new early maturing single cross hybrid maize 410 Taha (KSC 410) with suitable adaptability and desirable grain yield for cultivation in different regions of the country. Agricultural Research, Education and Extension Organization."
7. Assefa, G., Urge, M., Animut, G., & Assefa, G. (2020). Effect of variety and seed rate on hydroponic maize fodder biomass yield, chemical composition, and water use efficiency. *Biotechnology in Animal Husbandry*, *36*, 87-100. https://doi.org/10.2298/BAH2001087A
8. Banijamal, S.M., & Bayat, H. (2014). Effect of different ammonium and calcium different dosages on nutritional status, *Rosa hybrida* L. performance and quality in hydroponic system. *Journal of Greenhouse Cultivation Science and Technology*, *4*(1), 29-38. (In Persian)
9. Barrs, H.D., & Weatherley, P.E. (1962). A re-examination of the relative turgidity technique for estimating water deficits in leaves. *Australian Journal of Biological Sciences*, *15*(3), 413-428. https://doi.org/10.1071/BI9620413
10. Beritto D.T., & Kronzucker, H.J. (2002). NH_4^+ toxicity in higher plants: a critical review. *Journal of Plant Physiology*, *159*(6), 567-584. https://doi.org/10.1078/0176-1617-0774
11. Bittsansky, A., Pilinszk, K., Gyulai, G., & Komives, T. (2015). Over coming ammonium toxicity. *Plant Science*, *231*, 184-190. https://doi.org/10.1016/j.plantsci.2014.12.005

12. Boschieroa, B.N., Mariano, E., Azevedoc, R.A. & Trivelin, P.C.O. (2019). Influence of nitrate - ammonium ratio on the growth, nutrition, and metabolism of sugarcane. *Plant Physiology and Biochemistry*, *139*, 246-255. https://doi.org/10.1016/j.plaphy.2019.03.024
13. Bruning-Fann, C., & Kaneene, J.B. (1993). The effect of nitrate, nitrite and N-nitroso compounds on animal health. *Veterinary Human Toxicology*, *35*(3), 237-253.
14. Cao, H., Ge, Y., Liu, D., Cao, Q., Chang, S.X., Chang, J., Song, X., & Lin, X. (2011). Nitrate/ammonium ratio affect ryegrass growth and nitrogen accumulation in a hydroponic system. *Journal of Plant Nutrition*, *34*, 206–216. https://doi.org/10.1080/01904167.2011.533322
15. Chen, J.G., Cheng, S.H., Cao, W.X., & Zhou, X. (1998). Involvement of endogenous plant hormones in the effect of mixed nitrogen source on growth and tillering of wheat. *Journal of Plant Nutrition, 21*, 87-97.
16. Chen, J. (2007). Rapid urbanization in China: a real challenge to soil protection and food security. *Catena 69*(1), 1–15. https://doi.org/10.1016/j.catena.2006.04.019
17. Delshad, M., Babalar, M., & Kashi, A.K. (2000). Effect of NH_4^+/ NO_3^- ratio of nutrient solutions on greenhouse tomato cultivars in hydroponic systems. *Iranian Journal of Agricultural Sciences*, *31*(3), 613-625. (In Persian)
18. Duke, S.H., & Collins, M. (1985). The role of K in legume dinitrogen fixation. In R, D. Munson (ed). *Potassium in Agriculture*. Am. Soc. Agron. Madison, WI p 443-465.
19. Dwyer, L.M., Stewart, D.W., Carrigna, L., Ma, B.L., & Neave, P. (1999). Guidelines for comparisons among different corn-maturity rating systems. *Agronomy Journal, 91*(6), 122–131. https://doi.org/10.2134/agronj1999.916946x
20. Elmulthum, N.A., Zeineldin, F.I., Al-Khateeb, S.A., Al-Barrak, K.M., Mohammed, T.A., Sattar, M.N., & Mohmand, A.S. (2023). Water use efficiency and economic evaluation of the hydroponic versus conventional Cultivation systems for green fodder production in Saudi Arabia. *Sustainability*, *15*, 822. https://doi.org/10.3390/su15010822
21. Errebhi, M., & Wilcox, G.E. (1990). Plant species response to ammonium-nitrate concentration ratios. *Journal of Plant Nutrition*, *13*(8), 1017-1029. https://doi.org/10.1080/01904169009364132
22. Gangolli, S.D., Van Den Brandt, P.A., Feron, V.J., Jan-Zowesky, C., Koeman, J.H., Speijers, G.J.A., Spiegelhalder, B., Walker R., & Winshnok, J.S. (1994). Nitrate, nitrite and N-nitroso compounds. *European Journal of Pharmacology, 292*(1), 1-38. https://doi.org/10.1016/0926-6917(94)90022-1
23. Ghorbani, M., kiani, S.H., Moharrery, A., & Fallah, S. (2023). The effect of ionic composition of the nutrient solutions on growth, macronutrients concentration and yield of two fodder maize (*Zea mays* L.) cultivars in soilless culture. *Journal of Soil and Plant Interactions*, *14*(1), 31-51.
24. Guo, J., Jia, Y., Chen, H., Zhang, L., Yang, J., Hu, X., Ye, X., Li, Y., & Zhou, Y. (2019). Growth, photosynthesis, and nutrient uptake in wheat are affected by differences in nitrogen levels and forms and potassium supply. *Scientific Reports, 9*, 1-12.
25. Hachiya, T., & Sakakibara, H. (2017). Interactions between nitrate and ammonium in their uptake, allocation, assimilation, and in plants. *Journal of Experimental Botany*, *68*(10), 2501–2512. https://doi.org/10.1093/jxb/erw449
26. Homas, A.L., & Sodek, L. (2005). Development of the nodulated soybean plant after flooding of the root system with different sources of nitrogen. *Brazilian Journal of Plant Physiology*, *17*(3), 291-297.
27. Jones, J.B. Jr. (2001). Laboratory Guide for Conducting Soil Tests and Plant Analysis. CRC Press, Boca Raton, FL, USA.
28. Kandlbinder, A., da Cruz, C., & Kaiser, W.M. (1997). Response of primary plant metabolism to the N-source. *Zeitschrift für Pflanzenernährung und Bodenkunde*, *160*, 269–274. https://doi.org/10.1002/jpln.19971600221
29. Kumari, R., Bedi. S., Dhatt, A.S., & Sethi, V.P. (2021). Effect of Proportion of NO_3^- and NH_4^+ in Nutrient Solution and Growing Seasons on Yield and Quality in Coriander. *Journal of Agricultural Science and Technology*, *23*, 891-902. dor: 20.1001.1.16807073.2021.23.4.14.3
30. Lichtenthaler, H.K. (1987). Chlorophylls and carotenoids: pigments of photosynthetic biomembranes. *Methods in Enzymology*, *148*, 350-382. https://doi.org/10.1016/0076-6879(87)48036-1
31. Liu, M., Liang, F., Li, Q., Wang, G., Tian, Y., & Jia, H. (2023). Enhancement growth, water use efficiency and economic benefit for maize by drip irrigation in Northwest China. *Scientific Reports, 13*, 8392. https://doi.org/10.1038/s41598-023-35611-9
32. Luther, L.K., & Moler, R.L. (1988). Source and timing of spring topdress nitrogen on wheat in Idaho. *Agronomy Journal*, *80*(4), 641-654. https://doi.org/10.2134/agronj1988.00021962008000040020x
33. Mahlangu, R.I.S., Maboko, M.M., Sivakumar, D., Soundy, P., & Jifon, J. (2016). Lettuce (*Lactuca sativa* L.) growth, yield and quality response to nitrogen fertilization in a non-circulating hydroponic system. *Journal of Plant Nutrition, 39*, 1766-1775. https://doi.org/10.1080/01904167.2016.1187739
34. Marschner, P. (2012). *Mineral Nutrition of Higher Plants*. Academic Press, London.
35. Mengel, K., & Kirkby, E.A. (2001). *Principles of Plant Nutrition*. 5th Ed. Boston: Kluwer Academic Publishers, U.S.A.
36. Mohammadnejad, A., Najafi, N., & Nishabouri, M.R. (2015). Effects of three types of organic fertilizers on the growth characteristics and water use efficiency of corn at different levels of soil compaction. *Journal of Soil*

Management and Sustainable, *5*(2), 25–47.

37. Naderi, N., Ahmadi, M.Z., FazlOula, R., Shahnazari, A., & Khavari Khorasani, S. (2015). Evaluating the effect of different methods of deficit irrigation on yield, yield components and irrigation water productivity of forage maize. *Iranian Journal of Irrigation and Drainage*, *3*(9), 522-530.
38. Naik, P.K., Dhuri, R.B., Swain, B.K., & Singh, N.P. (2012). Nutrient changes with the growth of hydroponics fodder maize. *Indian Journal of Animal Nutrition*, *29*(2), 161-163.
39. Najafi, N., & Parsazadeh, M. (2010). Effect of nitrogen form and pH of nutrient solution on the shoot concentration of phosphorus, nitrate, and nitrogen of spinach plant in hydroponic culture. *Journal of Science and Technology of Greenhouse Culture*, *1*(1), 41-55.
40. Ningoji, S.N., Thimmegowda, M.N., Boraiah, B., Anand, M.R., Krishna Murthy, R., & Asha, N.N. (2020). Effect of seed rate and nutrition on water use efficiency and yield of hydroponics maize fodder. *International Journal of Current Microbiology and Applied Sciences*, *9*(1), 71–79.
41. Peng, W., Zhang-kui, W., Xi-chao, S., Xiao-huan, M.U., Huan, C., Fan-jun, C., Lixing, Y., & Guo-hua, M.I. (2018). Interaction effect of nitrogen form and planting density on plant growth and nutrient uptake in maize seedlings. *Journal of Integrative Agriculture*, *18*(5), 1120-1129. https://doi.org/10.1016/S2095-3119(18)61977-X
42. Poblaciones, M.A.J., Lopez-Bellido, L., & Rafel, J. (2009). Field estimation of technological bread-making quality in wheat in wheat. *Filed Crops Research*, *112*(2-3), 253-259. https://doi.org/10.1016/j.fcr.2009.03.011
43. Rabie, R.K., Arima, Y., & Kumazawa, K. (1980). Effect of combined nitrogen on the distribution of photosynthetic assimilates in nodulated soybean plant as revealed by ^{14}C. *Soil Science and Plant Nutrition*, *26*(1),79-86. https://doi.org/10.1080/00380768.1980.10433214
44. Roosta, H.R. (2010). The comparison of ammonium or nitrate-grown lettuce and spinach in a hydroponic system. *Journal of Science and Technology of Greenhouse Culture*, *1*, 57-64. (In Persian with English abstract)
45. Rothstein, D., & Cregg., B.M. (2005). Effects of nitrogen form on nutrient uptake and physiology of Fraser fir (*Abies fraseri*). *Forest Ecology and Management*, *219*(1), 69–80. https://doi.org/10.1016/j.foreco.2005.08.043
46. Russell, W., & Hallauure, A.R. (1988). *Corn in hybridization of crop plants*. Fehr WR and Hadley HH (Eds.). American Society of Agronomy, Madison. WI.
47. Rudnick, D., Irmak, S., Ferguson, R., Shaver, T., Djaman, K., Slater, G., Bereuter, A., Ward, N., Francis, D., Schmer, M., Wienhold, B., & Van Donk, S. (2016). Economic return versus crop water productivity of maize for various nitrogen rates under full irrigation, limited irrigation, and rainfed Settings in South Central Nebraska. *Journal of Irrigation and Drainage Engineering*, *142*(6), 04016017.
48. Santamaría P., Elia A., Papa G., & Serio, F. (1998). Nitrate and ammonium nutrition in chicory and rocket salad plants. *Journal of Plant Nutrition*, *21*, 1779-1789. https://doi.org/10.1080/01904169809365523
49. Santos, J.H.S., Bona, F.D., & Monteiro, F.A. (2013). Growth and productive responses of tropical grass Panicum maximum to nitrate and ammonium supply. *Revista Brasileira de Zootecnia*, *42*(9), 622-628. https://doi.org/10.1590/S1516-35982013000900003
50. Sattelmacher, B., Klotz, F., & Marschner, H. (1990). Influence of the nitrogen level on root growth and morphology of two potato varieties differing in nitrogen acquisition. *Plant and Soil*, *123*, 131-137.
51. Savvas, D., Passam, H.C., Olympios, C., Nasi, E., Moustaka, E., Mantzos, N., & Barouchas, P. (2006). Effects of ammonium nitrogen on lettuce grown on pumice in a closed hydroponic system. *Journal of Horticultural Science*, *41*(7), 1667-1673. https://doi.org/10.21273/HORTSCI.41.7.1667
52. Shahoori S., Sepehr E., & Rahimi, A. (2018). Effect of different levels of nitrogen and different ratios of nitrate: ammonium on chemical composition and essential oil of denaii thyme in saline and non-saline conditions. *Applied Soil Research*, *7*(2), 29-43.
53. Smith, G.S., Johnston, C.M., & Cornforth, I.S. (1983). Comparison of nutrient solutions for growth of plants in sand culture. *New Phytologist*, *94*(4), 537–548.
54. Smith, R.L., Mills, H.A., Hoveland, C.S., & Hanna, W.W. (1990). Influence of influence of ammonium: nitrate ratios on the growth and nitogen uptake of pearl millet. *Journal of Plant Nutrition*, *13*(5), 541-553. https://doi.org/10.1080/01904169009364098
55. Stewart, Z.P., Paparozzic, L.T., Djanaguiramana, M., & Shapiro, C.A. (2019). Lipid-based Fe- and Zn-nanoformulation is more effective in alleviating Fe- and Zn-deficiency in maize. *Joural of Plant Nutrition 42*(14), 1693–1708. https://doi.org/10.1080/01904167.2019.1617314
56. Sultana, S., Ullah, J., Karim, F., & Asaduzzaman, J. (2009). Response of mungbean to integrated nitrogen and weed managements. *American-Eurasian Journal of Agronomy*, *2*(2), 104-108.
57. Wang, X.T., & Below, F.E. (1998). Accumulation and partitioning of mineral nutrients in wheat as influenced by nitrogen form. *Journal of Plant Nutrition*, *21*(1), 49-61. https://doi.org/10.1080/01904169809365382
58. Wen, X., Ikeda, H., & Oda, M. (2000). The absorption, translocation, and assimilation of urea nitrate or ammonium in tomato plant at different plant growth stages in hydroponic culture. *Scientia Horticulturae 84*(3-4), 275-283. https://doi.org/10.1016/S0304-4238(99)00108-9
59. Woodson, W.R., & Boodley J.W. (1982). Effects of nitrogen form and potassium concentration on growth,

flowering and nitrogen utilization of greenhouse roses. *Journal of American Society for Horticultural Science, 107*(2), 275-278. https://doi.org/10.21273/JASHS.107.2.275

60. Zhang, Y., Lin X., Zhang, Y., Zheng, S.J., & Du, S. (2005). Effects of nitrogen levels and nitrate/ammonium ratios on oxalate concentrations of different forms in edible parts of spinach. *Journal of Plant Nutrition*, *28*(11), 2011-2025. https://doi.org/10.1080/01904160500311086
61. Zhang, F.C., Kang, S.Z., Li, F.S., & Zhang, J.H., (2007). Growth and major nutrient concentrations in Brassica campestris supplied with different NH_4^+/NO_3^- ratios. *Journal of Integrative Plant Biology*, *49*(4), 455–462. https://doi.org/10.1111/j.1744-7909.2007.00373.x
62. Zheng, Y., Aijun, J., Tangyuan, N., Xud, J., Zengjia, L., & Gaoming, J. (2008). Potassium nitrate application alleviates sodium chloride stress in winter wheat cultivars differing in salt tolerance. *Journal of Plant Physioligy*, *165*(14), 1455-1465. https://doi.org/10.1016/j.jplph.2008.01.001
63. Zhu, Z.B., Yu, M.M., Chen, Y.H., Guo, Q.S., Zhang, L.X., Shi, H.Z., & Liu, L. (2014). Effects of ammonium to nitrate ratio on growth, nitrogen metabolism, photosynthetic efficiency and bioactive phytochemical production of *Prunella vulgaris*. *Pharmaceutical Biology*, *52*(12), 1518–1525. https://doi.org/10.3109/13880209.2014.902081
64. Zhu, Y., Qi1, B., Hao, Y., Liu, H., Sun, G., Chen, R., & Song, S. (2021). Appropriate NH_4^+/NO_3^- ratio triggers plant growth and nutrient uptake of flowering Chinese cabbage by optimizing the pH value of nutrient solution. *Frontiers in Plant Science*, *12*(1-16). https://doi.org/10.3389/fpls.2021.656144